

高效液相色谱法定量测定广西发酵麻笋 风味标志物

许蓉蓉*, 韦淑钰, 徐梓健, 黄焯焯, 林 华

(广西壮族自治区柳州市质量检验检测研究中心, 柳州 545006)

摘要: **目的** 建立高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)定量测定广西发酵麻笋有代表性的风味标志物的分析方法。**方法** 运用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱技术(headspace-solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry, HS-SPME-GC-MS)对发酵麻笋进行挥发性成分分析, 找出特征的风味标志物, 再用高效液相色谱仪对特征的风味标志物进行定量测定。**结果** 发酵麻笋在气相质谱中检出 8 种高响应挥发性物质, 其中 4-甲基苯酚面积百分比含量 90.2%, 为主要挥发性成分。建立高效液相色谱法定量检测 4-甲基苯酚的分析方法, 该方法在 0~232.5 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 范围内线性关系良好, 三水平加标方法回收率为 90.5%~97.2%, 相对标准偏差为 0.3%~1.9%, 检出限 4.8 mg/kg, 定量限 14.4 mg/kg。**结论** 本方法重现性好, 检测灵敏度高, 可用于广西发酵麻笋的风味定量控制。

关键词: 广西发酵麻笋; 风味标志物; 高效液相色谱法; 顶空固相微萃取; 气相色谱-质谱法

Quantitative determination of flavor markers of fermented *Dendrocalamus latiflorus* in Guangxi by high performance liquid chromatography

XU Rong-Rong*, WEI Shu-Yu, XU Zi-Jian, HUANG Xing-Yan, LIN Hua

(Liuzhou Quality Inspection and Testing Research Center, Liuzhou 545006, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for quantitative determination of typical flavor markers of fermented *Dendrocalamus latiflorus* in Guangxi by high performance liquid chromatography (HPLC). **Methods** The volatile ingredients of fermented *Dendrocalamus latiflorus* were analyzed by headspace-solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry (HS-SPME-GC-MS) in order that the typical flavor markers could be found, and the typical flavor markers could be quantified by high performance liquid chromatography. **Results** A total of 8 kinds of volatile components which was high response were identified, and the main ingredients were 4-methylphenol (90.2%). A method for quantitative determination of the 4-methylphenol by HPLC was established. The linear relationship was good in the range of 0-232.5 $\mu\text{g}/\text{mL}$, the range that the recoveries rates of 3 spiked levels were 90.5% to 97.2%, the range that the relative standard deviations were 0.3% to 1.9%, the limits of detection (LOD) were 4.8 mg/kg and the limits of quantification (LOQ) were 14.4 mg/kg. **Conclusion** The method has good

基金项目: 中央引导地方科技发展专项项目(桂科 ZY19183022)、柳州市科技计划项目(2020NCBA0801)

Fund: Supported by the Development of Science and Technology Projects that the Central Guide Local (GuiKe ZY19183022), and Liuzhou Science and Technology Project (2020NCBA0801)

*通信作者: 许蓉蓉, 副主任药师, 主要研究方向为食品药品质量与安全。E-mail: lotus511@qq.com

*Corresponding author: XU Rong-Rong, Associate Chief Pharmacist, Liuzhou Quality Inspection and Testing Research Center, Liuzhou 545006, China. E-mail: lotus511@qq.com

reproducibility and high detection sensitivity, which is suitable for the quantitative determination of typical flavor of fermented *Dendrocalamus latiflorus* in Guangxi.

KEY WORDS: fermented *Dendrocalamus latiflorus* in Guangxi; flavor markers; high performance liquid chromatography; headspace solid phase microextraction; gas chromatography-mass spectrometry

0 引言

麻笋(*Dendrocalamus latiflorus*)又称甜竹、大绿竹、大叶乌竹,是从生竹笋的一种。主要分布在我国亚热带和热带地区,如重庆、四川、湖南、江西、贵州、湖北、云南、广西、广东、福建、浙江等地区^[1],略微带苦涩味。

广西地区食用发酵麻笋的历史悠久,作为广西地方特色食品,发酵麻笋生产作坊林林总总难以计数,小作坊腌制后将成品运到菜市场贩卖。月均产量 24000 万袋(30 g/袋)的专门性工厂生产后供其他预包装食品作为原料。发酵麻笋的风味质量通常由经验控制,缺乏统一的衡量标准。

当前进行风味研究的常规手段是顶空固相微萃取结合气相色谱法^[2-5],用浓缩富集挥发性成分的固相微萃取装置采样,用气相一级质谱鉴定具体的化合物,最后对大量样本的相对百分含量进行统计学分析。这些研究手段通常用于实验室评估不同工艺或不同产地样本的风味情况,投入的人力成本、时间成本、以及设备成本均较高,不适合用于食品生产中风味质量控制。同时这些研究中气相色谱-质谱法分析风味得出的主要是相对面积百分含量,无法真实反应实际风味目标物含量的高低。现有文献采用量值溯源的绝对含量测定法测定发酵蔬菜风味指标多集中于酸性指标上,反映风味情况比较单一。例如朱照华^[6]采用高效液相色谱法(high performance liquid chromatography, HPLC)进行了酸笋中有机酸的测定,王芮东等^[7]采用 HPLC 进行了甘蓝泡菜中有机酸的测定,周杏荣等^[8]对发酵竹笋采用容量法进行了总酸含量测定。

本研究采用顶空固相微萃取-气相色谱-质谱技术研究发酵麻笋中的风味物质,寻找除酸味外更有代表性的风味标志物,根据风味标志物的特性选择开发合适的定量测定方法—高效液相色谱法,把发酵麻笋的风味以数字的形式呈现,用科学手段对风味进行质量控制,以期对地方特色食品生产时的风味质量控制提供新的方向。

1 材料与amp;方法

1.1 实验材料

1.1.1 样品

发酵麻笋(当地菜市场购买):将新鲜麻笋剥壳、去皮,得到笋肉,将笋肉毛刺处理干净,洗净,将笋肉横刀切成适配腌制容器的块状大小,紧实摆放入容器中,加入适量

老酸水后加清水没过笋肉,用保鲜袋和绳子将容器口密封好,放置阴凉的地方,使之自然发酵 40 d。

阴性样品:未发酵的麻笋,即新鲜麻笋。

1.1.2 仪器与设备

1260 Infinity II 高效液相色谱仪(配二极管阵列检测器)、7890A-5975C 气相质谱仪(美国安捷伦公司);含 PDMS/DVB 萃取头的手动固相微萃取进样针(上海安谱实验有限公司);KQ3200E 超声波振荡器(江苏昆山公司)。

1.1.3 试剂

4-甲基苯酚标准品(纯度为 99.49%,德国 Dr.Ehrenstorfer GmbH 公司);甲醇(色谱纯,美国 Fisher 公司);庚烷磺酸钠一水合物(色谱纯,美国 Sigma Aldrich 公司);冰醋酸(分析纯,天津市科密欧化学试剂有限公司);实验用水为符合 GB/T 6682—2016《分析实验室用水规格和试验方法》规定的实验室一级水。

1.2 实验方法

1.2.1 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法

(1)样品前处理和固相微萃取条件

样品经高速研磨后,称取 5 g 置于顶空瓶中,加水 4 mL,加盖密封,80 °C 保温 30 min,将 PDMS/DVB 萃取头插入顶空瓶中,恒温萃取吸附 30 min,拔出萃取头插入气相质谱仪进样口,在 250 °C 下解析 5 min,同时启动气相质谱采集数据。

(2)气相色谱-质谱条件

毛细管色谱柱为 DB-35 (30 m×0.25 mm, 0.25 μm);载气为氦气,流速 1.0 mL/min,进样口温度为 260 °C,进样方式为分流进样,分流比 10:1 (V:V),进样量 1 μL;程序升温如下:初始温度 40 °C,保持 5 min,以 5 °C/min 的速率升至 320 °C,保持 10 min;电子轰击离子源(electron impact ion source, EI),电离能量为 70 eV,传输线温度为 280 °C,离子源温度为 230 °C,四极杆温度为 150 °C,溶剂延迟 1.8 min,采用全扫描(scan)模式进行采集,扫描质量范围 30~500 amu。

1.2.2 液相色谱法

(1)液相色谱条件

色谱柱:Agilent Eclipse SB-Aq C₁₈ (4.6 mm×5 μm, 250 mm);柱温:30 °C;流动相:甲醇-0.22%庚烷磺酸钠水溶液(用冰乙酸调 pH=3.5) (55:45, V:V);流速:1.0 mL/min;进样量:10 μL;检测器:二极管阵列检测器或紫外检测器;检测波长:280 nm;以色谱峰的保留时间定性,采用外标

曲线法定量。

(2)标准储备液的配制

准确称取 4-甲基苯酚标准品 0.02500 g (精确至 0.00001 g)于 25 mL 容量瓶中,用甲醇溶解并定容,配制成质量浓度为 1.0 mg/mL 的标准储备液,4 °C 保存

(3)系列标准工作液的配制

精密吸取 4-甲基苯酚标准储备液 0、0.4、0.8、1.2、1.6、2.0 mL 分别置于 10 mL 量瓶中,用甲醇稀释定容,配制成质量浓度为 0、40、80、120、160、200 $\mu\text{g/mL}$ 标准工作溶液。

(4)样品测定

称取样品 5 g (精确至 0.0001 g),置于 25 mL 比色管中,加入 20 mL 甲醇,超声提取 30 min,用甲醇定容至刻度,摇匀。经 0.45 μm 有机滤膜过滤,滤液作为待测样液进行液相色谱仪测定。

2 结果与分析

2.1 气相色谱-质谱分析结果

对发酵麻笋样品的挥发性成分进行气相色谱-质谱分析,共检出 18 个色谱质谱峰,滤去信噪比小于 10 的微量检出峰,对剩余峰的质谱图采用 NIST14 谱库结合人工解谱进行未知化合物鉴定,再扣除色谱柱流失的化合物和固相微萃取填料流失的化合物^[9],得到 8 个高响应的挥发性成分,面积相对百分含量由大到小依次是:4-甲基苯酚(90.2%)、乙醇(3.03%)、醋酸(1.41%)、正丙醇(1.00%)、2-乙基己醇(0.25%)、反-2-庚烯醛(0.21%)、棕榈酸乙酯(0.11%)、苯酚(0.10%)。

检出少量正丙醇、乙醇和 2-乙基己醇,醇类物质味道比较令人舒服但嗅觉阈值较高,意味着很高浓度才能闻到,对发酵麻笋的味道贡献不明显;检出少量棕榈酸乙酯,呈微弱蜡香、果爵和奶油香气;检出少量反-2-庚烯醛,具有青草香气及刺激臭;检出少量醋酸。检出较高量的 4-甲基苯酚,相对面积百分含量高达 90%以上,朱照华等^[6,10-11]在对腌制竹笋的风味物质研究中均发现 4-甲基苯酚有较高的相对含量,与本研究结果吻合。4-甲基苯酚主要呈现窖泥臭味^[12-15],在长沙臭豆腐卤水中也有较高的含量^[16-18]。酚类成分常会产生刺激性气味和一些特殊异味,且嗅觉阈值比较低^[19],意味着很小浓度即能闻到强烈味道。4-甲基苯酚具有低嗅觉阈值的窖泥臭味,检出较高的量,对发酵麻笋的风味产生重要影响。

上述研究表明,4-甲基苯酚是发酵麻笋的挥发性特征成分之一,故选择 4-甲基苯酚作为风味标志物。气相色谱-质谱分析得出的面积相对百分含量是以所有峰面积的和为分母,每个峰面积为分子计算得到。由于不同化合物在同一色谱图中响应因子不同,且缺乏以标准品含量为参照的

量值溯源,面积相对百分含量结果无法代表各化合物准确的含量,仅能初步看到一张质谱总离子流图中各个化合物含量的高低,故为了更好地评估 4-甲基苯酚的含量,需建立 4-甲基苯酚的绝对含量测定方法。4-甲基苯酚分子量 108.14,既可用气相色谱仪测定也可用液相色谱仪测定。由于高效液相色谱仪能对 70%以上的有机化合物进行分析,在生命科学、食品科学、药物研究及环境研究中获得广泛应用,考虑高效液相色谱仪^[20]的高普及率,本研究选择其作为检测 4-甲基苯酚绝对含量的仪器。

2.2 液相色谱定量方法的建立

2.2.1 前处理条件的优化

根据 4-甲基苯酚结构,含有羟基碱性大,易溶于甲醇乙醇等极性有机溶剂,选择液相常用流动相之一的甲醇作为提取溶剂;取样 5 g,加甲醇 20 mL,对样品采用了超声、回流和振荡等 3 种提取方式分别提取 30 min,提取效果一致,故采用操作便捷的超声提取方式。取样 5 g,加甲醇 20 mL,分别超声提取 5、10、20、30 和 40 min,提取 20 min 后含量测定结果无明显变化,从充分性和时效性考虑选择 20 min 作为提取时间。

2.2.2 液相色谱条件的优化

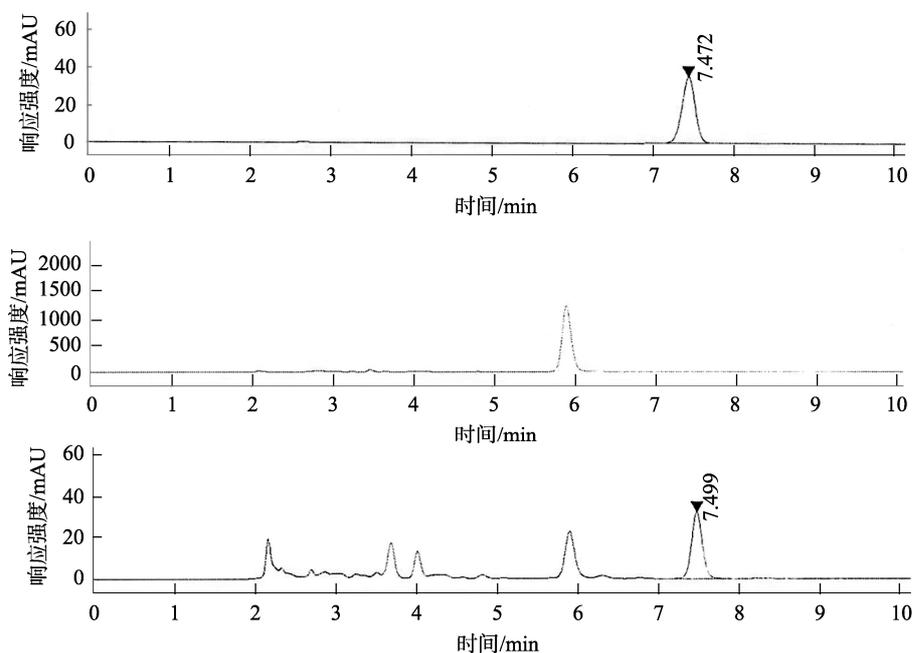
对 4-甲基苯酚标准品溶液进行紫外扫描,在 280 nm 处有最大吸收峰,选择 280 nm 为 4-甲基苯酚的检测波长。4-甲基苯酚为弱酸性化合物,pKa 值 10.17,流动相的 pH 对其保留时间和峰形有影响,故选择采用反相离子抑制技术,以 0.22%庚烷磺酸钠(冰醋酸调 pH=3.5)为流动相,4-甲基苯酚的理论塔板数 13863,对称因子 1.05,色谱行为良好。标准品、麻笋(阴性样品)和发酵麻笋典型样品图谱见图 1。

2.2.3 线性范围和检出限

将系列标准工作液进行液相分析,以峰面积 Y 为纵坐标,以标准品浓度(X , $\mu\text{g/mL}$)为横坐标,进行线性回归,在 0~232.5 $\mu\text{g/mL}$ 范围内,4-甲基苯酚的线性回归方程为 $Y=4.7126X-0.1936$, $r=0.9998$,线性关系良好;以低水平加标样的信噪比评估检出限,当加标量为 116.25 μg 时,信噪比为 14.5,按 3 倍信噪比折算实际检出限为 4.8 mg/kg,根据 GB 27417 3 倍检出限为定量限,即 14.4 mg/kg,满足检测的要求。

2.2.4 回收率和精密度

取阴性样品 18 份,每份 5 g,每 6 份为 1 组,进行低中高 3 水平加标实验,测定结果见表 1。如表 1 所示,4-甲基苯酚的加标回收率在 90.5%~97.2%之间,相对标准偏差均小于 2%,符合 GB/T 27417—2017《合格评定 化学分析方法确认和验证指南》和 GB/T 27404—2008《实验室质量控制规范 食品理化检验》对分析方法的回收率和精密度要求,表明建立的高效液相色谱法具有可靠的检测性能。



注: (a)4-甲基苯酚标准品色谱图; (b)阴性样品色谱图; (c)发酵麻笋样品色谱图。

图 1 标准品、阴性样品和样品的液相色谱图

Fig.1 High performance liquid chromatograms of standard, negative sample and sample

表 1 精密度和回收率实验结果($n=6$)

Table 1 Results of precisions and recoveries ($n=6$)

样品	添加水平/($\mu\text{g/g}$)	回收率/%	精密度/%
	69.66	90.5	1.9
麻笋	139.32	95.1	1.0
	696.60	97.2	0.3

2.3 实际样品测定

通过 4-甲基苯酚标准品进行量值溯源, 采用高效液相色谱法对 2 份新鲜未发酵的麻笋和市场上 20 个厂家的发酵麻笋进行 4-甲基苯酚绝对含量的测定, 结果见表 2。检测的样品中, 新鲜未发酵的麻笋 4-甲基苯酚含量为零, 20 个厂家发酵后的麻笋均检出 4-甲基苯酚, 表明麻笋中的 4-甲基苯酚由发酵产生; 在各厂家样品中检出最低值 89.37 mg/kg, 最高值 1543.26 mg/kg, 平均值 754.55 mg/kg, 表明各厂家含量测定结果存在显著性差异, 估计由各厂家发酵时间、发酵温度、发酵剂(老酸水)等工艺差异导致。日常生产靠人工判断发酵成熟度, 对人的要求高, 难以控制一致性, 也无法制定统一的行业标准, 采用定量检测的手段来衡量判断发酵的成熟度, 可避免 89.37 mg/kg 这种较低风味结果的产生。

3 结论与讨论

对风味物质进行定量测定, 用于生产质控, 在白酒生产领域有着广泛的应用, 例如白酒中的有机酸测定^[21]、白酒呈香脂类乙酸乙酯、己酸乙酯、乳酸乙酯等的测定^[22]。本研究建立了发酵麻笋中风味物质 4-甲基苯酚的定量测定方法。

表 2 22 批样品测定结果(mg/kg)

Table 2 Results of 22 kinds of samples (mg/kg)

编号	4-甲基苯酚	编号	4-甲基苯酚
1(麻笋)	0	12(发酵麻笋)	675.15
2(麻笋)	0	13(发酵麻笋)	1366.47
3(发酵麻笋)	414.31	14(发酵麻笋)	1446.36
4(发酵麻笋)	992.84	15(发酵麻笋)	679.08
5(发酵麻笋)	89.37	16(发酵麻笋)	535.26
6(发酵麻笋)	565.48	17(发酵麻笋)	649.93
7(发酵麻笋)	1543.26	18(发酵麻笋)	259.78
8(发酵麻笋)	950.42	19(发酵麻笋)	735.73
9(发酵麻笋)	363.98	20(发酵麻笋)	1063.58
10(发酵麻笋)	509.88	21(发酵麻笋)	601.46
11(发酵麻笋)	822.96	22(发酵麻笋)	825.63

本研究通过气相色谱-质谱研究,找出了发酵麻笋中有风味代表性并且相对含量较高的化合物 4-甲基苯酚,对 4-甲基苯酚建立了高效液相定量测定方法,用该方法对麻笋和不同厂家生产的发酵麻笋进行检测,麻笋中未检出 4-甲基苯酚,发酵麻笋检出不同程度的 4-甲基苯酚,表明发酵风味存在明显差异。本研究建立的方法快速、灵敏、准确,可用于广西发酵麻笋风味物质的定量分析,采用定量的手段控制风味及评价发酵成熟度更容易获得较好的质量,为可控化生产的发酵麻笋行业标准的制定提供新方向,同时该方法还可以用于麻笋发酵工艺的研究,对发酵过程中风味标志物的含量变化进行监测评估,能获得更直观的研究结果。

参考文献

- [1] 陈亚忠. 麻竹笋定向栽培技术[J]. 中国农机推广, 2004, 5: 56.
CHEN YZ. A study on the directional cultivation techniques of *Dendrocalamopsis daii* Keng [J]. Chin Agric Technol Exten, 2004, 5: 56.
- [2] 付铭, 曹续, 孙宝阳, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱法测定香紫苏香气成分[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(4): 1508-1512.
FU M, CAO X, SUN BY, et al. Determination of aromatic ingredients of *Salvia sclarea* by headspace solid phase microextraction-gas chromatography-mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(4): 1508-1512.
- [3] 刘纯友, 江素珍, 冯笑, 等. HS-SPME-GC-MS 测定三种类型百香果果实挥发性风味成分[J/OL]. 食品工业科技: 1-15 [2021-03-04]. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020100010
LIU CY, JIANG SZ, FENG X, et al. Study on volatile flavor compounds from three types of passion fruit using headspace solid phase micro-extraction gas chromatography mass spectrometry [J/OL]. Sci Technol Food Ind: 1-15 [2021-03-04]. DOI: 10.13386/j.issn1002-0306.2020100010
- [4] 陈丽华, 吕新, 韦航, 等. 顶空固相微萃取-气相色谱-质谱联用法分析茶树花茶香气成分[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(1): 115-121.
CHEN LH, LV X, WEI H, et al. Analysis of aroma components in flower tea of *Camellia sinensis* by headspace solid phase microextraction combined with gas chromatography-mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(1): 115-121.
- [5] WANG Q, LIU K, LIU L, et al. Correlation analysis between aroma components and microbial communities in Wuliangye-flavor raw liquor based on HS-SPME/LLME-GC-MS and PLFA [J]. Food Res Int, 2020, 140(47): 109995.
- [6] 朱照华. 酸笋的营养成分检测及其主要风味物质的研究[D]. 南宁: 广西大学, 2014.
ZHU ZH. Study on nutritional components and main flavor compounds of sour bamboo shoots [D]. Nanning: Guangxi University, 2014.
- [7] 王芮东, 卫博慧, 李楠, 等. 不同发酵方式下甘蓝泡菜中有机酸的 HPLC 分析[J]. 中国酿造, 2018, 37(9): 175-180.
WANG RD, WEI BH, LI N, et al. Organic acids analysis of cabbage pickles with different fermentation process by HPLC [J]. Chin Brew, 2018, 37(9): 175-180.
- [8] 周杏荣, 陈晓艺, 蒋立文, 等. 竹笋自然发酵过程中风味物质变化规律[J]. 中国酿造, 2019, 38(8): 20-24.
ZHOU XR, CHEN XY, JIANG LW, et al. Changes of flavor substances in natural fermentation of bamboo shoots [J]. China Brew, 2019, 38(8): 20-24.
- [9] DAVID S, ZELDA EP, FULTON GK. 气相色谱与质谱实用指南(原著第 2 版)[M]. 北京: 科学出版社, 2015.
DAVID S, ZELDA EP, FULTON GK. Gas chromatography and mass spectrometry a practical guide (Second Edition) [M]. Beijing: Science Press, 2015.
- [10] 汪莉莎, 陈光静, 郑炯, 等. 大叶麻竹笋腌制过程中品质变化规律[J]. 食品与发酵工业, 2013, 39(10): 73-77.
WANG LS, CHEN GJ, ZHENG J, et al. Study on the change of quality of *Dendrocalamus latiflorus* in pickled process [J]. Food Ferment Ind, 2013, 39(10): 73-77.
- [11] 郑炯, 李薇, 陈光静, 等. 麻竹笋腌制加工过程中风味物质的变化[J]. 食品与发酵工业, 2019, 45(18): 93-100, 106.
ZHENG J, LI W, CHEN GJ, et al. Study on the change of flavor quality of *Dendrocalamus latiflorus* in pickled process [J]. Food Ferment Ind, 2019, 45(18): 93-100, 106.
- [12] 聂元皓. 影响浓香型白酒酿造过程中 4-甲基苯酚及其前体物质产生的因素探究[D]. 无锡: 江南大学, 2018.
NIE YH. Study on the influencing factors of p-resol and its precursor in strong aroma type Chinese liquor [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2018.
- [13] 刘博. 浓香型白酒中窖泥异味物质 4-甲基苯酚的产生机制研究[D]. 无锡: 江南大学, 2016.
LIU B. The origin study of off-odor compound p-cresol in Chinese strong aroma type liquor [D]. Wuxi: Jiangnan University, 2016.
- [14] 宫璐婵, 任聪, 高江婧, 等. 重组 4-甲基苯酚消减乳酸菌的构建及其在白酒酿造体系中的功能[J]. 微生物学通报, 2020, 47(3): 749-758.
GONG LC, REN C, GAO JJ, et al. Construction of p-cresol reduction recombinant lactic acid bacterium to decrease p-cresol in Chinese liquor fermentation [J]. Microbiol Chin, 2020, 47(3): 749-758.
- [15] 刘博, 杜海, 王雪山, 等. 基于高通量测序技术解析浓香型白酒中窖泥臭味物质 4-甲基苯酚的来源[J]. 微生物学通报, 2017, 44(1): 108-117.
LIU B, DU H, WANG XS, et al. Detecting source of p-cresol in strong flavor Chinese liquor by high throughput sequencing [J]. Microbiol Chin, 2017, 44(1): 108-117.
- [16] 唐辉, 钟瑞敏, 朱建华, 等. 电子鼻结合 OAV 分析臭豆腐卤水的挥发性成分及风味活性物质[J]. 中国食品学报, 2021, 21(3): 351-359.
TANG H, ZHONG RM, ZHU JH, et al. Analysis of volatile flavor compounds and flavor active substance in south stinky tofu brine using electronic nose and odor active values [J]. J Chin Inst Food Sci Technol, 2021, 21(3): 351-359.
- [17] 唐辉, 蒋立文, 谢靓, 等. 基于 SPME-GC-MS 和化学计量法分析长沙臭豆腐卤水挥发性风味物质[J]. 食品与机械, 2019, 35(1): 54-62.
TANG H, JIANG LW, XIE L, et al. Comparative analysis of volatile

- component of south stinky tofu brine by SPME-GC-MS combined with chemometrics [J]. *Food Mach*, 2019, 35(1): 54–62.
- [18] 侯艳梅, 贺静, 廖卢艳, 等. 长沙臭豆腐卤水生产工艺优化探讨[J]. *中国酿造*, 2018, 37(6): 73–79.
- HOU YM, HE J, LIAO LY, *et al.* Optimization of production technology of Changsha stinky tofu brine [J]. *China Brew*, 2018, 37(6): 73–79.
- [19] 郑文迪, 关倩倩, 刘长根, 等. 基于 GC-MS 法对比广西地区酸菜和酸笋风味的差异[J]. *食品与发酵工业*, 2020, 46(4): 253–257.
- ZHENG WD, GUAN QQ, LIU CG, *et al.* Comparison of flavors of Suancai and Suansun in Guangxi based on GC-MS [J]. *Food Ferment Ind*, 2020, 46(4): 253–257.
- [20] 皱汉法, 张玉奎, 卢佩章. 高效液相色谱法[M]. 北京: 科学出版社, 2001.
- ZHOU HF, ZHANG YK, LU PZ. High performance liquid chromatography [M]. Beijing: Science Press, 2001.
- [21] 郝俊光, 柯锋, 梁振荣, 等. 液相法测定米香型白酒发酵液中 18 种有机酸 [J/OL]. *食品工业科技*: 1-13 [2021-04-27]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020120143>
- HE JG, KE F, LIANG ZR, *et al.* Determination of 18 organic acids in rice flavored liquor fermentation broth by high pressure liquid chromatography [J/OL]. *Sci Technol Food Ind*: 1-13 [2021-04-27]. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020120143>
- [22] 赵尚碧, 淳泽利, 保玉心. 气相色谱法测定白酒中 10 种风味组分[J]. *现代农业科技*, 2018, (15): 234–236.
- ZHAO SB, CHUN ZL, BAO YX. Determination of ten components in Chinese liquor by gas chromatography [J]. *Mod Agric Sci Technol*, 2018, (15): 234–236.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



许蓉蓉, 副主任药师, 主要研究方向为食品药品质量与安全。
E-mail: lotus511@qq.com